

UNIVERSITÀ DI PISA

Facoltà di Ingegneria



**Corso di Laurea Specialistica in
*Ingegneria delle Costruzioni Civili***

Tesi di laurea specialistica:

***“Progetto di ponte strallato sulla SP 432
in località Bocca di Magra”***

Autore:

Alessandro Ulissi _____

Relatori:

Chiar.mo Prof. Ing. Pietro Croce _____

Chiar.mo Dott. Ing. Pier Giuseppe Galletto _____

Anno accademico 2008/2009

*Alla mia famiglia,
ringraziando per l'affetto e la stima.*

PREFAZIONE

La progettazione di un ponte rappresenta secondo me una delle sfide più emozionanti che possano attrarre un ingegnere strutturista, a cui spetta il compito di mettere in comunicazione territori che la natura, di fatto, ha previsto separati.

Il mio interesse per la progettazione di ponti è stato sempre alimentato dalla bellezza e dall'imponenza delle soluzioni ingegneristiche che si possono osservare in giro per il mondo. Progettare un ponte richiede inoltre una visione complessiva dell'ingegneria strutturale: per affrontare le diverse problematiche che caratterizzano in modo peculiare ciascuna progettazione occorre infatti affiancare a buone conoscenze di Scienza e Tecnica anche uno spirito d'iniziativa personale, sia in fase di concezione che di realizzazione dell'opera.

Affrontare una tesi sulla progettazione di un ponte rappresenta quindi per me un coronamento della carriera universitaria intrapresa.

RIASSUNTO ANALITICO

La tesi ha per oggetto la realizzazione di un nuovo ponte sulla SP 432 in località Bocca di Magra. La sostituzione del manufatto esistente si rende necessaria per carenze strutturali dello stesso e per migliorare la navigabilità del fiume Magra (altezze delle imbarcazioni ammesse al transito, regime idraulico del corso d'acqua).

La soluzione progettuale adottata è quella di ponte strallato su 3 luci di 45 – 110 – 45 m. La tipologia strallata consente di realizzare un impalcato di dimensioni contenute nonché di ottenere una soluzione complessivamente gradevole dal punto di vista estetico - architettonico.

L'impalcato è costituito da un cassone metallico pluricellulare con profilo esterno sagomato in modo tale da mitigare l'azione eolica. Le antenne possiedono un profilo ad H e sono realizzate in C.A. nella parte inferiore, in acciaio in quella superiore. Il traverso intermedio su cui poggia l'impalcato viene realizzato con un elemento in C.A.P. a cavi post-tesi.

Il sistema di strallatura è ad arpa-ventaglio ed è organizzato, per ciascuna antenna, su due piani verticali, ognuno dei quali è formato da 10 stralli, disposti simmetricamente lato spalle e lato mezzeria.

INDICE

CAPITOLO 1 - DESCRIZIONE DELL'OPERA	Pag. 5
1.1 - Generalità ed inquadramento territoriale	Pag. 6
1.2 - Vincoli e scelte progettuali	Pag. 10
1.3 - Caratteristiche principali dell'opera	Pag. 13
1.4 - Considerazioni sul montaggio dell'opera	Pag. 27
1.5 - Caratterizzazione geotecnica del sottosuolo	Pag. 31
1.6 - Normative di riferimento	Pag. 32
1.7 - Unità di misura e convenzioni adottate	Pag. 33
1.8 - Software impiegato	Pag. 34
 CAPITOLO 2 - I MODELLI DI CALCOLO ADOTTATI	 Pag. 35
2.1 - Introduzione	Pag. 36
2.2 - Caratteristiche comuni dei modelli di calcolo	Pag. 37
2.3 - Il modello di calcolo principale	Pag. 45
2.3.1 - <i>Caratteristiche complessive del modello</i>	
2.3.2 - <i>Versioni del modello di calcolo principale. Strategie adottate per la modellazione dei carichi da traffico</i>	
2.4 - Il modello di calcolo sismico	Pag. 49
2.5 - Il modello di calcolo delle fondazioni	Pag. 52
2.5.1 – <i>Introduzione</i>	
2.5.2 - <i>Azioni di calcolo agenti in sommità del generico palo di fondazione</i>	
2.5.3 - <i>Azioni di calcolo agenti nella zattera di fondazione</i>	
 CAPITOLO 3 - CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ..	 Pag. 59
3.1 - Materiali strutturali	Pag. 60
3.2.1 – <i>Acciaio</i>	
3.2.2 – <i>Calcestruzzo</i>	
3.2 - Materiali non strutturali	Pag. 70
 CAPITOLO 4 - ANALISI DEI CARICHI	 Pag. 71
4.1 - Premessa	Pag. 72
4.2 - Analisi dei carichi per il modello di calcolo principale	Pag. 73

4.2.1 - Carichi permanenti (g_1, g_2)	
4.2.2 - Deformazioni impresse ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_{3k}, \varepsilon_4$)	
4.2.3 - Carichi da traffico (q_{1k}, q_{2k}, q_{3k})	
4.2.4 - Carichi vento e neve (q_{5k})	
4.2.5 - Altre azioni variabili (q_9)	
4.3 - Analisi dei carichi per il modello di calcolo sismico	Pag. 119
4.3.1 - Carichi permanenti (g_1, g_2)	
4.3.2 - Deformazioni impresse ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_{3k}$)	
4.3.3 - Azione sismica (q_6)	

CAPITOLO 5 - LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA NEL METODO AGLI STATI LIMITE: AZIONI DI PROGETTO E RESISTENZE DI CALCOLO DEI MATERIALI Pag. 125

5.1 - Premessa. La valutazione della sicurezza	Pag. 126
5.2 - Definizione delle azioni di progetto	Pag. 128
5.2.1 - Riepilogo delle condizioni di carico assunte come singole azioni di calcolo	
5.2.2 - I coefficienti parziali di sicurezza delle azioni	
5.2.3 - I coefficienti di combinazione delle azioni	
5.2.4 - I "Gruppi di Azioni" da traffico	
5.2.5 - Combinazioni di carico: definizione ed elenco	
5.3 - Resistenze di calcolo e legami costitutivi dei materiali per i diversi Stati Limite considerati	Pag. 151
5.3.1 - Elementi strutturali in C.A. e C.A.P.	
5.3.2 - Elementi strutturali in acciaio.	
5.4 - Progettazione geotecnica: approccio di verifica e coefficienti parziali di sicurezza per i parametri geotecnici	Pag. 156

CAPITOLO 6 - VERIFICHE DI SICUREZZA: STATI LIMITE CONSIDERATI E RELATIVI METODI DI CALCOLO Pag. 159

6.1 - Criteri generali di progettazione	Pag. 160
6.1.1 - Verifiche degli elementi in acciaio bidimensionali (impalcato)	
6.1.2 - Verifiche degli elementi strutturali in C.A. (antenne, fondazioni)	
6.1.3 - Verifiche aggiuntive per gli elementi strutturali in C.A.P. (antenne)	

6.1.4 - Verifiche dell'ancoraggio della gamba superiore in acciaio (antenne)	
6.1.5 - Verifiche degli elementi monodimensionali in acciaio (antenne)	
6.1.6 - Verifiche dei giunti bullonati degli elementi in acciaio (antenne)	
6.1.7 - Verifiche degli stralli	
6.1.8 - Verifiche degli ancoraggi degli stralli (impalcato, antenne)	
6.2 - Progettazione geotecnica	Pag. 212
6.2.1 - Stati Limite Ultimi di tipo geotecnico	
6.2.2 - Stati Limite Ultimi di tipo strutturale	
6.3 - Progettazione antisismica	Pag. 220
6.3.1 - Premessa: Stati Limite considerati in fase di progetto	
6.3.2 - Criteri di progettazione e verifiche specifiche per le diverse parti di struttura. Criterio della Gerarchia delle Resistenze (GR).	
 CAPITOLO 7 - VERIFICHE DI SICUREZZA: RISULTATI OTTENUTI PER I DIVERSI ELEMENTI STRUTTURALI ..	Pag. 231
7.1 - Premessa	Pag. 232
7.2 - Impalcato in acciaio	Pag. 233
7.2.1 - Verifiche di resistenza [SAP2000]	
7.2.1.1 - Premessa	
7.2.1.2 - Lamiera superiore	
7.2.1.3 - Nervature longitudinali chiuse (superiori)	
7.2.1.4 - Lamiera inferiore	
7.2.1.5 - Nervature longitudinali chiuse (inferiori)	
7.2.1.6 - Anima centrale	
7.2.1.7 - Anima intermedia	
7.2.1.8 - Diaframma a parete piena (in corrispondenza delle antenne)	
7.2.1.9 - Traverso intermedio a mezz'altezza	
7.2.1.10 - Conclusioni	
7.2.2 - Verifiche di stabilità [Mathcad]	
7.2.2.1 - Stato Limite Ultimo di instabilità delle lamiere soggette a taglio	
7.2.2.2 - Stato Limite Ultimo di instabilità delle lamiere soggette a compressione	
7.3 - Antenne	Pag. 284
7.3.1 - Gambe inferiori in C.A. [Mathcad]	
7.3.1.1 - Introduzione	
7.3.1.2 - Sezione di base	
7.3.1.3 - Sezione intermedia	

7.3.2 - Fondazioni in C.A. (zattere e pali) [Mathcad]	
7.3.2.1 - Caratteristiche e calcolo delle sollecitazioni	
7.3.2.2 - Verifiche svolte	
7.3.3 - Traverso intermedio in C.A.P. [Mathcad]	
7.3.3.1 - Introduzione	
7.3.3.2 - Verifica delle tensioni limite e verifica dell'ancoraggio	
7.3.3.3 - Sezione di estremità	
7.3.3.4 - Sezione di mezzeria	
7.3.4 - Ancoraggio delle gambe superiori in acciaio [Excel]	
7.3.4.1 - Caratteristiche complessive dell'ancoraggio	
7.3.4.2 - Verifiche svolte	
7.3.5 - Gambe superiore in acciaio [Excel]	
7.3.5.1 - Caratteristiche dell'elemento strutturale	
7.3.5.2 - Verifiche svolte	
7.3.6 - Traverso di sommità in acciaio [Excel]	
7.3.6.1 - Caratteristiche dell'elemento strutturale	
7.3.6.2 - Verifiche svolte	
7.3.7 - Giunti bullonati delle gambe superiori in acciaio [Excel]	
7.3.7.1 - Caratteristiche della sezione, dei materiali e stato di sollecitazione	
7.3.7.2 - Giunto di una sempiattabanda: caratteristiche e verifiche svolte	
7.3.7.3 - Giunto di un'anima laterale: caratteristiche e verifiche svolte	
7.3.8 - Giunti bullonati del traverso di sommità in acciaio [Excel]	
7.3.8.1 - Caratteristiche della sezione, dei materiali e stato di sollecitazione	
7.3.8.2 - Giunto di una piattabanda: caratteristiche e verifiche svolte	
7.3.8.3 - Giunto di un'anima: caratteristiche e verifiche svolte	
7.4 - Stralli [Excel]	Pag. 383
7.5 - Ancoraggi degli stralli [Excel]	Pag. 384
7.5.1 - Ancoraggi degli stralli in corrispondenza dell'antenna [Excel]	
7.5.2 - Ancoraggi degli stralli in corrispondenza dell'impalcato [Excel]	

APPENDICE : RISULTATI DELL'ANALISI MODALE	Pag. 389
--	-----------------

BIBLIOGRAFIA	Pag. 401
---------------------------	-----------------